Generative Fertigung im Maschinenbau

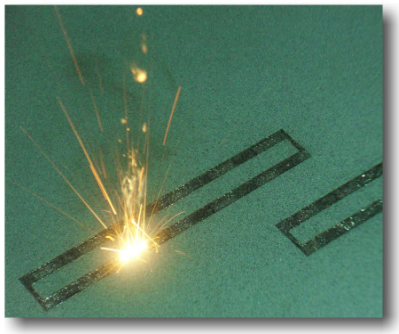
Industrieller 3D-Druck auf dem Weg in die Serienproduktion

Dr.-Ing. Bernhard Müller
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Gruppenleiter „Generative Fertigungsverfahren“

10. Technische Tagung der Schaeffler Technologies GmbH & Co. KG, 19. November 2014, Herzogenaurach

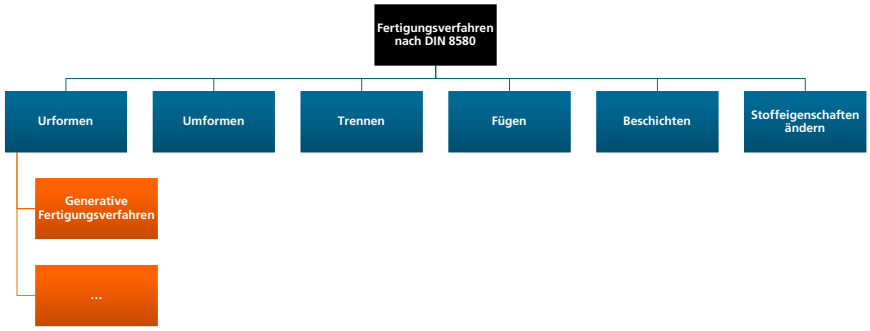
© Fraunhofer IWU
1
Fraunhofer IWU

Generative Fertigungsverfahren



© Fraunhofer IWU
2
Fraunhofer IWU

Generative Fertigungsverfahren
Einordnung nach DIN 8580

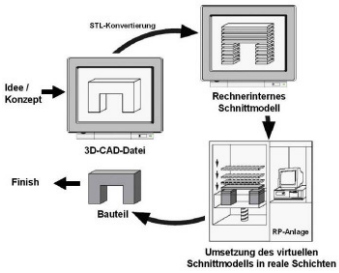


© Fraunhofer IWU

3

Fraunhofer IWU

Generative Fertigungsverfahren
Grundprinzip und Historie



Prinzipskizze generativer Fertigungsverfahren
(Quelle: Gebhardt, A.: Generative Fertigungsverfahren)

- **Generativ** [aus dem Lateinischen] - erzeugend, urformend; hier: Aufbauende Verfahren, z. B. schichtweise, **additiv**
- **Rapid Prototyping (RP):** generative Herstellung von Bauteilen mit eingeschränkter Funktionalität (Prototypen, Versuchsteile)
- **Rapid Tooling:** Anwendung der generativen Methoden und Verfahren auf den Bau von Werkzeugen und Formen
- **Rapid Manufacturing (RM):** generative Herstellung von Endprodukten / Serienteilen (Konstruktion und Material entspricht dem des Endproduktes)

© Fraunhofer IWU

4

Fraunhofer IWU

Generative Fertigungsverfahren
Verfahrensübersicht

- **Extrusionsbasierte Verfahren**
  Aufschmelzen von meist drahtförmigen Vormaterial in einer Heizdüse und gesteuerter Auftrag über ein Plottersystem, z. B. FDM/FLM Fused Deposition/Layer Modeling (*)
- **Druckverfahren**
  tröpfchenweiser Materialaufbau oder Binderauftrag auf ein Pulverbett analog dem Tintenstrahldruck, z. B. 3D-Drucken (*)
- **Photopolymerisationsverfahren**
  selektives UV-Licht-basiertes Aushärten von speziellen Kunststoffen, z. B. Stereolithographie
- **Selektives Sintern bzw. Schmelzen von Pulvermaterial**
  Lasersintern, Laserstrahlschmelzen (*), Elektronenstrahlschmelzen
- **Laminierverfahren**
  Aufeinanderkleben von Folien und Ausschneiden der Bauteilkontur, z. B. LOM Laminated Object Manufacturing
- **Verfahren mit gerichtetem Energieeintrag und gleichzeitigem Materialauftrag**
  z. B. Laser-Pulver-Auftragsschweißen, LENS Laser Engineered Net-Shaping

(* Verfahren am Fraunhofer IWU vorhanden)

© Fraunhofer IWU

5

Fraunhofer IWU

Generative Fertigungsverfahren
Anlagentechnik

Metall

Laserstrahlschmelzen

M2 Cusing (Concept Laser), IWU Dresden

SLM Realizer 100 (Realizer), IWU Dresden

SLM 250HL (SLM Solutions), IWU Augsburg (RMV)

SLM 250HL (SLM Solutions), TU Chemnitz (SLK)

Kunststoff

3D-Drucken

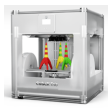
ZPrinter 310 + Zprinter 450 (3D Systems / Z Corp.), TU Chemnitz (IWP, RP-Labor)

Fused Layer Modeling (FLM/FDM)

FORTUS 900mc (Stratasys), IWU Zittau / Bautzen

Dimension SST 1200es (Stratasys), TU Chemnitz (IWP, RP-Labor)

Delta Tower *in Beschaff.*



Cube X (3D Systems), IWU Chemnitz

Selektives Laser-Sintern (SLS)

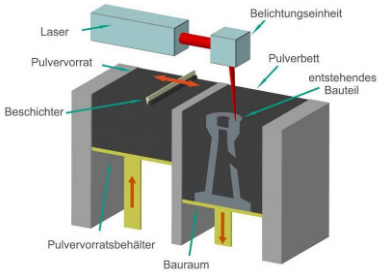
sPro™60 HD-HS High Speed SLS® Center (3D Systems) IWU Zittau / Bautzen

© Fraunhofer IWU

6

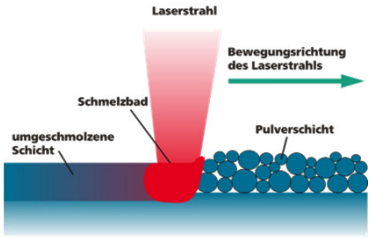
Fraunhofer IWU

Generative Fertigungsverfahren
Laserstrahlschmelzen



Funktionsprinzip einer Laserstrahlschmelzanlage

- **direktes Verfahren**, bei dem die gewünschten Teile in einem **einstufigen Prozess** im **metallischen Serienmaterial** entstehen
  (ggf. ist Entfernung von Stützstrukturen und Reinigung erforderlich)
- **vollständiges**, lokales **Aufschmelzen** von Metallpulvern zu einem 99,5 - 100 % dichten Gefüge



© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Generative Fertigungsverfahren – Laserstrahlschmelzen
Vorteile

time to product
- keine Werkzeuge
- keine AV / Technologieplanung
- keine NC-Programmierung
- einstufiger Prozess
  (kein Schlichten, Erodieren)

Gestaltfreiheit
- beliebig komplexe Geometrien
- Hinterschneidungen
- Innengeometrien, Hohlräume
- filigrane Strukturen
- spanend/umformend nicht herstellbare Geometrien

Werkstoffvielfalt
- Warmarbeitsstahl
- Edelstahl
- Nickel-Basis-Legierung (Inconel)
- Kobalt-Chrom
- Aluminium
- Titan

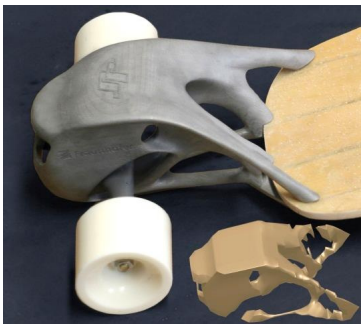
Leichtbau / Biokompatibilität
- Hohl- / Fachwerkstrukturen
- 100 % topologieoptimierte Bauteile
- bionische Strukturen
- gradierte Porenstrukturen

© Fraunhofer IWU

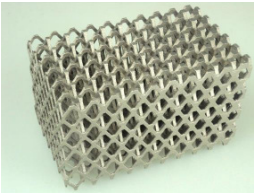
Fraunhofer IWU

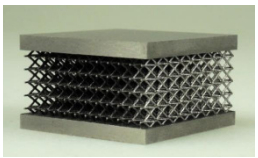
Generative Fertigungsverfahren
Konstruktive Freiheit

- minimale Einschränkungen durch generative Fertigungsverfahren erlauben funktionelle Integration und die Fertigung des „Unmöglichen“
- keine Beeinflussung bzw. Limitierung des Produkt- bzw. Werkzeugdesigns durch Werkzeugbewegungen bzw. -zugänglichkeit und Prozesskräfte



topologieoptimierter Achsträger für ein Longboard (Skateboard)





© Fraunhofer IWU

9

Fraunhofer IWU

Generative Fertigungsverfahren – Laserstrahlschmelzen
Werkstoffe und mechanische Kennwerte

Werkstoff	Zustand	Zugfestigkeit R_m [MPa]	Streckgrenze $R_{p\,0,2}$ [MPa]	Bruchdehnung A [%]	Härte [HRC]
Werkzeugstahl [1] 1.2709 X3NiCoMoTi 18 9 5	wärmebehandelt (490 °C)	2.040 - 2.180	1.870 - 1.940	3 - 5	54 - 56
Werkzeugstahl (rostfrei) Corrax®	wärmebehandelt (525 °C)	1.700	1.600	> 2	48 - 50
Edelstahl 1.4404 X2CrNiMo 17-12-2	wie gebaut	640	500	> 15	20
Titan 3.7165 TiAl6V4	wärmebehandelt	950 - 1.250	800 - 1.100	10 - 20	32 - 36
Aluminium [2] 3.2381 AlSi10Mg	wie gebaut lösungsgeglüht T6 wärmebehandelt	353 - 482 221 - 260 281 - 320	210 - 295 126 - 160 222 - 362	2 - 7 10 - 18 5 - 10	95 - 119 (HB) 63 - 74 (HB) 85 - 101 (HB)
Hastelloy X 2.4665 NiCr22Fe18 Mo	wie gebaut	718 - 886	617 - 741	26 - 40	

weitere verfügbare Werkstoffe: CoCr, Inconel 718, 17-4 PH, AlSi12

[1] Kennwerte lt. VDI 3405 Blatt 2
[2] Kennwerte lt. VDI 3405 Blatt 2.1

© Fraunhofer IWU

10

Fraunhofer IWU

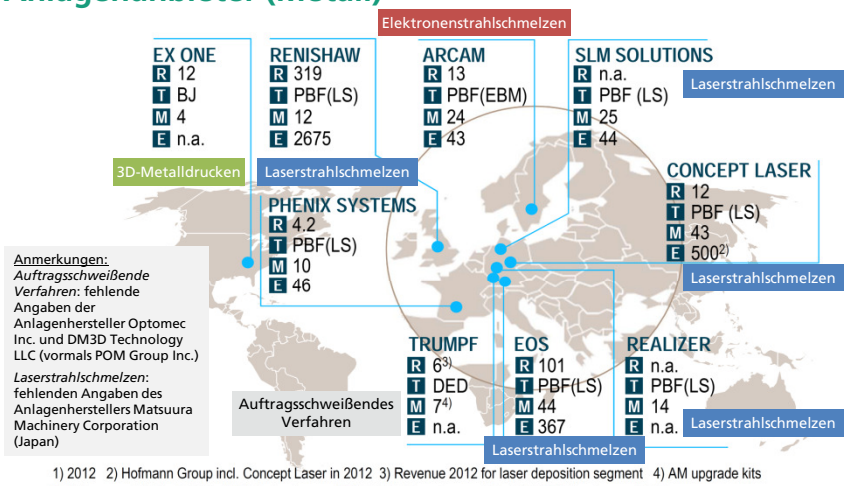
Entwicklungstrends der generativen Fertigungsverfahren

© Fraunhofer IWU

11

Fraunhofer IWU

Entwicklungstrends der generativen Fertigungsverfahren
Anlagenanbieter (Metall)



1) 2012 2) Hofmann Group incl. Concept Laser in 2012 3) Revenue 2012 for laser deposition segment 4) AM upgrade kits

R Revenue [EUR m] 2011 T Technology M Metal AM systems sold in 2012 E Employees 2011

DED = Directed energy deposition PBF = Powder bed fusion LS = Laser sintering EBM = Electron beam melting BJ = Binder jetting

(Quelle: Roland Berger Strategy Consultants)

© Fraunhofer IWU

12

Fraunhofer IWU

Entwicklungstrends der generativen Fertigungsverfahren
Marktvolumen nach Industriezweigen

CONSUMER PROD./ELECTRONICS

AM revenue [EUR m] 370

> Production of tools and manufacturing equipment such as grippers
> Production of embedded electronics, e.g. RFID devices

AUTOMOTIVE

AM revenue [EUR m] 320

> Primarily used for rapid prototyping esp. for visual aids and presentation models
> Production of special components for motorsports sector, e.g. cooling ducts

MEDICAL/DENTAL

AM revenue [EUR m] 280

> Production of dental bridges, copings, crowns, caps and invisible braces
> Customized prosthetics such as head implants

AEROSPACE

AM revenue [EUR m] 180

> Production of lightweight parts with complex geometry, e.g. fuel nozzles
> Stationary turbine components
> Reworking of burners (stat. turbine)

TOOLS/MOLDS

AM revenue [EUR m] 230

> High usage for manufacturing inserts and tools/molds with cooling channels
> Direct tooling (tools made via AM) and indirect tooling (patterns made via AM)

OTHER

AM revenue [EUR m] 330

> Several other industrial areas such as military, architectural, oil & gas, space
> Consumer markets, e.g. customized design objects, collectibles, jewelry

(Quelle: Roland Berger Strategy Consultants)

© Fraunhofer IWU

13

Fraunhofer IWU

Entwicklungstrends der generativen Fertigungsverfahren
Aktueller Einsatz generativer Verfahren im Automobilbau entlang des Produktentstehungsprozesses

Substitution of conventional technologies for prototypes by SLM: Laserstrahlschmelzen

● master forming ● metal forming ● joining ○ cutting

(Quelle: BMW AG)

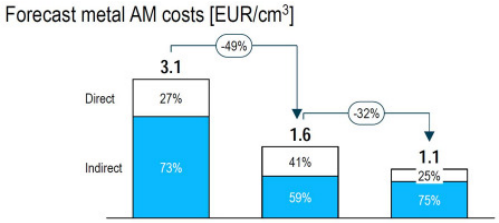
© Fraunhofer IWU

14

Fraunhofer IWU

Entwicklungstrends der generativen Fertigungsverfahren
Kostenentwicklung

- prognostizierte Kostenentwicklung für generative Fertigung in der nahen Zukunft



PREREQUISITES	2013	2018	2023
Build speed	10 cm³/h	40 cm³/h	80 cm³/h
Machine costs	EUR 500,000	EUR 700,000	EUR 800,000
Share of monitoring	5%	2%	0%
Machine utilization	86%	84%	81%
Powder price	EUR 89/kg	EUR 70/kg	EUR 30/kg
Post-processing effort	1.52 h/kg	1.05 h/kg	0.96 h/kg

(Quelle: Roland Berger Strategy Consultants)

© Fraunhofer IWU

15

Fraunhofer IWU

Entwicklungstrends der generativen Fertigungsverfahren
Fazit

- aktuell Serienanwendungen noch nicht im Vordergrund
- „Treiber"-Branchen Luftfahrt, Automotive, Medizintechnik
- heute (noch) mit Abstand größter Anteil bei den kunststoffverarbeitenden generative Fertigungsverfahren
  - ➔ höhere Chancen für eine kurz- bis mittelfristige Einführung als Serienfertigungsverfahren
- entwicklungsseitig sind kunststoffverarbeitende generative Fertigungsverfahren aber deutlich weiter ausgereizt als metallverarbeitende Verfahren
  - ➔ Innovationsschübe, auch hinsichtlich Produktivitätssteigerung und Kostensenkung, sind v. a. für die Metallverfahren zu erwarten

© Fraunhofer IWU

16

Fraunhofer IWU

Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale

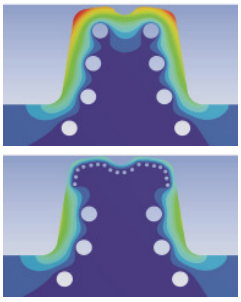
© Fraunhofer IWU

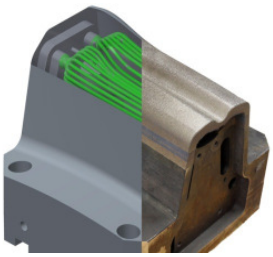
17

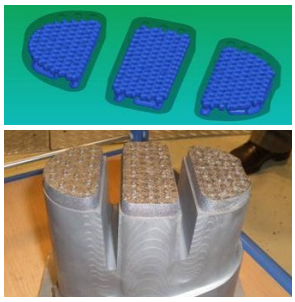
Fraunhofer IWU

Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale
Werkzeugbau

- Entwicklung und Auslegung innovativer, konturnaher Werkzeug-temperiersysteme (Spritzguss, Druckguss, Schmieden, Warmumformung)
- Integration weiterer Zusatzfunktionen in Werkzeuge und Formen (Sensorik/Aktorik, Medienzuführung z. B. Schmierung etc.)
- Systembetrachtung Gesamtwerkzeug (Integration, Hybridbauweise)







© Fraunhofer IWU

18

Fraunhofer IWU

Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale
Medizintechnik

- Entwurf, Konstruktion und Fertigung patientenspezifischer Implantate
- Machbarkeitsstudien für neuartige medizinische Anwendungen
- Integration innovativer Funktionen in Implantate

© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale
Komponentenfertigung

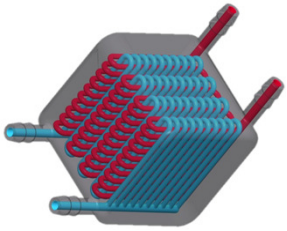
- schnelle Prototypen im metallischen Serienwerkstoff
- Entwicklung spezieller Werkstoffsysteme nach Kundenanforderung
- direkte Fertigung (Rapid Manufacturing) von Komponenten für den Serieneinsatz
- Komponenten- und Bauteilentwicklung mit Gitter- oder bionischer Struktur

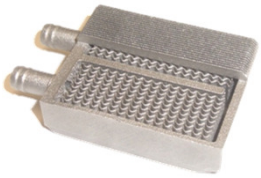
© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale
Komponentenfertigung

- Entwicklung von Bauteilen und Baugruppen zur thermischen Regulierung für bspw. Leistungselektronik (E-Mobilität)
- Entwicklung komplexer Bauteile für die Verfahrenstechnik





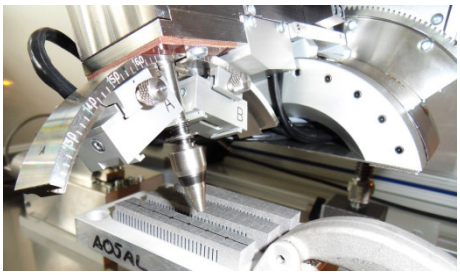
© Fraunhofer IWU

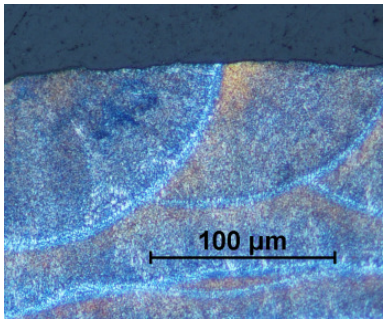
21

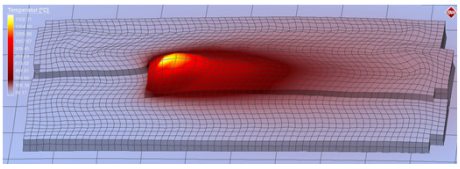
Fraunhofer IWU

Forschungsschwerpunkte und Anwendungspotentiale
Verfahrensentwicklung

- Qualifizierung neuer Werkstoffe nach Kundenwunsch
- Prozesssimulation
- Qualitätssicherung







© Fraunhofer IWU

22

Fraunhofer IWU

Netzwerke und Allianzen
Netzwerk Strahlschmelzen

NETZWERK STRAHLSCHMELZEN

Netzwerk Strahlschmelzen

Pulver- und Anlagen-hersteller → Forschung und Entwicklung → Anwender

NANOVAL
CONCEPTLASER hofmann innovation group

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN KTC
AMR
Fraunhofer IWU

Janke Engineering
FKT Formenbau und Kunststofftechnik
ALPHAFORM
citim
PTZ PROTOTYPEN ZENTRUM

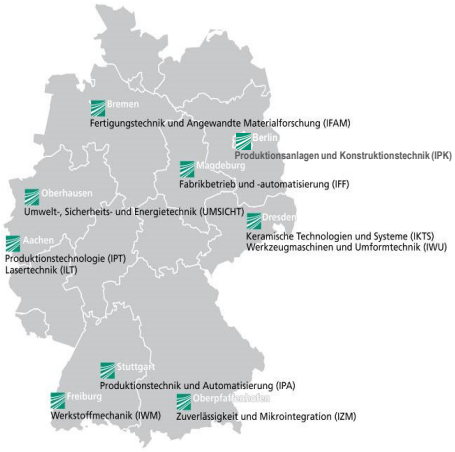
© Fraunhofer IWU

23

Fraunhofer IWU

Netzwerke und Allianzen
Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung

Fraunhofer GENERATIV



- **Engineering**
  Anwendungen entwickeln, konstruieren, auslegen und simulieren
- **Werkstoffe**
  Materialien entwickeln und adaptieren
- **Technologien**
  Prozesse entwickeln und wirtschaftlich gestalten
- **Qualität**
  Fertigung beherrschen (Reproduzierbarkeit)

Geschäftsstelle:
Fraunhofer-Allianz Generative Fertigung
c/o Fraunhofer IWU
Nöthnitzer Straße 44
01187 Dresden

© Fraunhofer IWU

24

Fraunhofer IWU

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Fraunhofer IWU

Dr.-Ing. Bernhard Müller

Gruppenleiter
»Generative Fertigungsverfahren«

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU

Noethnitzer Strasse 44 I 01187 Dresden
Telefon: + 49 (0) 3 51 / 47 72-21 36
Fax: + 49 (0) 3 51 / 47 72-23 03
E-Mail: bernhard.mueller@iwu.fraunhofer.de

© Fraunhofer IWU